

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

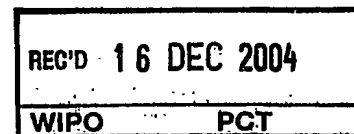
27.10.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 0 月 3 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 3 4 6 2 8 5
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 3 4 6 2 8 5]



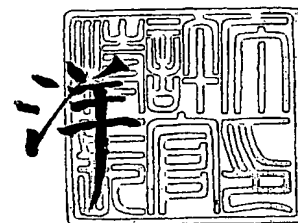
出 願 人 エヌティティエレクトロニクス株式会社
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 1 2 月 2 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 NEL03406
【提出日】 平成15年10月 3日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G02F 1/025
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都渋谷区道玄坂1丁目12番1号 エヌティティエレクトロ
 ニクス株式会社内
 【氏名】 石橋 忠夫
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都渋谷区道玄坂1丁目12番1号 エヌティティエレクトロ
 ニクス株式会社内
 【氏名】 安藤 精後
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 都築 健
【特許出願人】
 【識別番号】 591230295
 【氏名又は名称】 エヌティティエレクトロニクス株式会社
【特許出願人】
 【識別番号】 000004226
 【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100077481
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 谷 義一
【選任した代理人】
 【識別番号】 100088915
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 阿部 和夫
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 013424
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 0111942

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

有効な電気光学効果を有する半導体コア層と、該半導体コア層の上下を挟み、かつ該半導体コア層よりもバンドギャップの大きな第 1 及び第 2 の半導体クラッド層と、該第 1 及び第 2 の半導体クラッド層の上下を挟み、n 形のドーパントを含む第 3 及び第 4 の半導体クラッド層とを少なくとも備えた半導体ヘテロ構造の積層体であって、

基板側に前記第 1 及び第 3 の半導体クラッド層を配置し、該第 1 の半導体クラッド層と前記第 3 の半導体クラッド層との間に、p 形のドーパントを含み、かつ前記半導体コア層よりもバンドギャップの大きな第 5 の半導体層が挿入され、

前記第 4 の半導体クラッド層に、イオン注入法による材料の改質を施して一カ所以上の電気的分離領域が形成され、前記第 4 の半導体クラッド層の前記電気的分離領域以外の主領域と、前記第 3 の半導体クラッド層のそれぞれに独立な電極が設けられ、前記半導体コア層に電圧が印加される構造を有することを特徴とする半導体光電子導波路。

【請求項 2】

前記注入イオン種が、前記第 4 の半導体クラッド層内でアクセプタ、もしくは深いドナー／アクセプタ対準位を形成する原子であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体光電子導波路。

【請求項 3】

前記第 4 の半導体クラッド層に電気的分離領域が、3 領域以上あることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の半導体光電子導波路。

【請求項 4】

前記電気的分離領域を挟んで前記第 4 の半導体クラッド層の主領域と反対側の前記第 4 の半導体クラッド層に n 電極が設けられ、前記第 3 の半導体クラッド層の n 電極と接続されていることを特徴とする請求項 1, 2 又は 3 に記載の半導体光電子導波路。

【書類名】明細書

【発明の名称】半導体光電子導波路

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体光電子導波路に関し、より詳細には、 nin 形ヘテロ構造を用いた光電子導波路の電気分離領域構造を有し、長波長帯の超高速光変調器に用いる半導体光電子導波路に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年の大容量光通信システムは、 $Gbit/s$ 級以上の高速変調された光信号を伝送するようになったが、長距離になるほど光ファイバの分散効果の影響が生じやすいため、波長チャープニングの少ない、もしくは波長チャープニングが制御された光信号を用いる必要がある。そのために、レーザダイオードの直接変調ではなく、通常は直流動作のレーザダイオードと外部変調器を組み合わせた構成で光信号を発生している。長距離伝送に使用される従来の典型的な外部変調器は、 $LiNbO_3$ (LN) 導波路で構成されたLN変調器である。

【0003】

このタイプの光変調器の動作原理は、光導波路と電気導波路を結合させる(光電子導波路)ことにより、電気光学効果に基づく屈折率変化を応用し、入力電気信号を、屈折率変化を介して光に位相変化を与えることによるものであり、光位相変調器やマッハツェンダ干渉計を組んだ光強度変調器、または多数の導波路を結合させてより機能の高い光スイッチとして機能させることができる。

【0004】

しかしながら、LN変調器は、 $LiNbO_3$ が誘電体材料であるがゆえに、材料表面の安定化や導波路の加工に高度な製作技術を要する。また、導波路長が比較的長く、通常の半導体プロセスのものとは異なる特殊なフォトリソグラフィを用いる必要がある。さらに、LN変調器を実装するパッケージのサイズは大きくならざるを得ない。このようなことから、LN変調器モジュールは製造コストが高くなり、光送信器のサイズが比較的大きくなるという問題があった。

【0005】

また、LN変調器と同様の動作原理を用いた半導体光変調器も存在する。半絶縁性のGaAsにショットキー電極を配置し、それを光電子導波路としたGaAs光変調器やヘテロpn接合を用いて、光の閉じ込めと共に導波路のコア部分に効果的に電圧が印加されるようにしたInP/InGaAsP光変調器などである。ただし、これらの半導体光変調器は、前者については、導波路長が長く、電気ロスが大きいという問題があり、後者については、pクラッド層の光吸収が大きく導波路を長く取れないため動作電圧を低くできないという問題がある。最近、これらの問題を避ける構造として、InP/InGaAsP光変調器の両側のクラッド層ともn形としたもの(いわゆる nin 形構造)が提案されている(例えば、特許文献1及び2参照)。

【0006】

図4は、従来の nin 形構造を有する半導体光変調器の構成図で、図中符号41はn形の第3の半導体クラッド層、42はp形の第5の半導体クラッド層、43は第1の半導体クラッド層、44は電気光学効果を有する半導体コア層、45は第2の半導体クラッド層、46はn形の第4の半導体クラッド層、47、48はn電極、49は凹状のエッチングで形成された電気分離領域を示している。この凹状のエッチング部分に半絶縁性半導体を再成長した電気分離構造も報告されているが(例えば、特許文献1参照)、より構造は複雑になるので、光変調器には必ずしも最適な手法ではない。

【0007】

n形の第3の半導体クラッド層41上には、p形の第5の半導体クラッド層42と第1の半導体クラッド層43とが順次積層され、その第1の半導体クラッド層43と第2の半

導体クラッド層 45 とで挟まれるように、電気光学効果を有する半導体コア層 44 が設けられている。さらに、第 2 の半導体クラッド層 45 上には、凹状のエッチングで形成された電気分離領域 49 を有する n 形の第 4 の半導体クラッド層 46 が積層されている。この第 4 の半導体クラッド層 46 上には電極 48 が設けられているとともに、第 3 の半導体クラッド層 41 の凸状部の両側には電極 47 が設けられている。

【0008】

図 4 に示した導波路構造では、n 形 InP クラッド層 46 の一部を凹状にエッチングして電気分離領域 49 を設けているので、クラッド層の厚が変わる部分で光伝搬モードの変化が生じ、その結果、光散乱ロスが発生していた。また、従来の導波路構造では、第 4 の半導体クラッド層 46 のエッチングが比較的深く、その制御性が問題となっていた。

【0009】

【特許文献 1】特開 2003-177368 号公報

【特許文献 2】米国特許第 5,647,029 号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、この n i n 形 InP / InGaAsP 光変調器の典型的な構造においては、変調を行う導波路部分とその外側の接続導波路部分の電気分離を、一部の上層 n クラッド層 46 の一部を除去することによって行われているため、導波路に凹部 49 が生じてしまっていた。これは、接続導波路から電気分離領域部分、電気分離領域部分から主導波路部分において、光の伝搬モード変化に伴う光ロスが生じるという問題がある。さらには、電気分離領域部分（凹部）の直下には一定の厚さ以上の高抵抗クラッド層を残す必要があるため、その高抵抗クラッド層の厚さを薄くできず、半導体コア層 44 に効果的に電界を印加することができないという問題もあった。

【0011】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、従来の凹部形成による電気分離領域と比較して、光モードの伝搬に大きな影響を与えることがなく、光ロスの問題を解決し、また、制御性よく安定に電気分離領域構造を有する半導体光電子導波路を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明は、このような目的を達成するためになされたもので、請求項 1 に記載の発明は、有効な電気光学効果を有する半導体コア層と、該半導体コア層の上下を挟み、かつ該半導体コア層よりもバンドギャップの大きな第 1 及び第 2 の半導体クラッド層と、該第 1 及び第 2 の半導体クラッド層の上下を挟み、n 形のドーパントを含む第 3 及び第 4 の半導体クラッド層とを少なくとも備えた半導体ヘテロ構造の積層体であって、基板側に前記第 1 及び第 3 の半導体クラッド層を配置し、該第 1 の半導体クラッド層と前記第 3 の半導体クラッド層との間に、p 形のドーパントを含み、かつ前記半導体コア層よりもバンドギャップの大きな第 5 の半導体層が挿入され、前記第 4 の半導体クラッド層に、イオン注入法による材料の改質を施して一カ所以上の電氣的分離領域が形成され、前記第 4 の半導体クラッド層の前記電氣的分離領域以外の主領域と、前記第 3 の半導体クラッド層のそれぞれに独立な電極が設けられ、前記半導体コア層に電圧が印加される構造を有することを特徴とする。

【0013】

また、請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の発明において、前記注入イオン種が、前記第 4 の半導体クラッド層内でアクセプタ、もしくは深いドナー／アクセプタ対準位を形成する原子であることを特徴とする。

【0014】

また、請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 又は 2 に記載の発明において、前記第 4 の半導体クラッド層に電氣的分離領域が、3 領域以上あることを特徴とする。

【0015】

また、請求項4に記載の発明は、請求項1, 2又は3に記載の発明において、前記電気的分離領域を挟んで前記第4の半導体クラッド層の主領域と反対側の前記第4の半導体クラッド層にn電極が設けられ、前記第3の半導体クラッド層のn電極と接続されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

以上説明したように、本発明によれば、従来の凹部形成による電気分離領域と比較して、光モードの伝搬に大きな影響を与えることがなく、光ロスの問題を解決し、また、制御性よく安定に電気分離領域構造を有する半導体光電子導波路を提供することができる。また、本発明は、駆動電圧が低いという特徴を有するn i n形ヘテロ構造を用いた光変調器の特性を安定に実現するのに効果を発揮し、入力光電力の低減をとおして光変調器モジュールの低消費電力化や低価格化に寄与することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、図面を参照して本発明の実施例について説明する。

【実施例1】

【0018】

図1は、本発明に係る半導体光電子導波路の実施例1を説明するための構成図で、図中符号11はn形の第3の半導体クラッド層、12はp形の第5の半導体クラッド層、13は第1の半導体クラッド層、14は電気光学効果を有する半導体コア層、15は第2の半導体クラッド層、16はn形の第4の半導体クラッド層、17, 18はn電極、19はイオン注入で形成された電気分離領域を示している。

【0019】

n形の第3の半導体クラッド層11上には、p形の第5の半導体クラッド層12と第1の半導体クラッド層13とが順次積層され、その第1の半導体クラッド層13と第2の半導体クラッド層15とで挟まれるようにして、電気光学効果を有する半導体コア層14が設けられている。さらに、第2の半導体クラッド層15上には、イオン注入で形成された電気分離領域19を有するn形の第4の半導体クラッド層16が積層されている。この第4の半導体クラッド層16上には電極18が設けられているとともに、第3の半導体クラッド層11の凸状部の両側には電極17が設けられている。

【0020】

つまり、本発明の半導体光電子導波路は、有効な電気光学効果を有する半導体コア層14と、この半導体コア層14の上下を挟み、かつこの半導体コア層14よりもバンドギャップの大きな第1及び第2の半導体クラッド層13, 15と、この第1及び第2の半導体クラッド層13, 15の上下を挟むn形のドーパントを含む第3及び第4の半導体クラッド層11, 16とを少なくとも備えた半導体ヘテロ構造の積層体からなっている。

【0021】

基板（図示せず）側には、第1及び第3の半導体クラッド層13, 11を配置し、この第1の半導体クラッド層13と第3の半導体クラッド層11との間にp形のドーパントを含み、かつ半導体コア層14よりもバンドギャップの大きな第5の半導体層12が挿入され、第4の半導体クラッド層16には、イオン注入により一カ所以上の電気的分離領域19が形成され、また、第4の半導体クラッド層16の電気的分離領域19以外の主領域と、第3の半導体クラッド層11のそれぞれには独立な電極18, 17が設けられ、半導体コア層14に電圧が印加される構造を有している。

【0022】

このように、基板側から第3のInP n形クラッド層11と、p形のドーパントを含む第5のInPクラッド層12と、通常は低ドーピング濃度の第1のInPクラッド層13と、電気光学効果が動作光波長で有効に働き、光吸収が問題とならない程度に低くなるようにその構造が決められた半導体コア層14とが順次積層されていて、1.5 μ m帯のデ

バイスであれば、InGaAlAsのGa/Al組成を変えた層を、それぞれ量子井戸層とバリア層にした多重量子井戸構造となっている。

【0023】

さらに、半導体コア層14上には、低ドーピング濃度の第2のInPクラッド層15と、第4のInPn形クラッド層16が配置されている。電極17に対して電極18を正に電圧を印加し、電気光学効果に基づく光位相の変調を行う。動作状態で使用する印加電圧範囲で、第5のInPクラッド層12から第2のInPクラッド層15はすべてを空乏化させ、また、n形の第3のInPn形クラッド層11と第4の半導体クラッド層16は一部を空乏化させる。第5のInPクラッド層12がp形であるので電子に対するポテンシャルバリアとして働く。

【0024】

このデバイスを光電子導波路として機能させるには、図1に示したメサ構造の断面と垂直方向に光を伝搬させた状態で電極18に電気信号を入力し、第3のInPn形クラッド層11と第2のInPクラッド層15間に電圧が印加される状態とする。通常、光変調器として光電子導波路を用いる際には、電極18から電圧が印加される光変調導波路部と、この光変調導波路部の光入力／出力側に接続導波路が配置され、それらの間を電氣的に分離する必要がある。

【0025】

本実施例1の半導体光電子導波路においては、符号19で示した部分にイオン注入法により第4のInPn形クラッド層の一部を高抵抗化領域もしくはpn接合で囲まれたp形領域（電気分離領域）としている。

【0026】

なお、本実施例1においては、電子に対するポテンシャルバリアとして働くp形にドーピングされた第5のInPクラッド層12を下部に配置することも特徴である。これは、イオン注入時に生成される結晶欠陥により、ポテンシャルバリアを作るイオン化したアクセプタの温度分布が影響を受けるのを避けることを目的とする。すなわち、バイアスを印加した際、ポテンシャルバリア形状が劣化して接合のリーク電流が増大するのを防ぐためのものである。

【0027】

また、本実施例1の構成においては、電気分離領域19にイオン注入されるイオン種として、BeなどのInP中でアクセプタを形成する原子、もしくは深いドナー／アクセプタ対準位を形成する原子を用いている。電気分離領域19がp形になってしまう場合、その部分の電気抵抗は、同程度のドーピング量のn形層のそれに比べて約30倍以上高く、たとえ高抵抗層となっていなくとも、入力電気信号が電気分離領域19に伝搬することによる変調効率の低下を防ぐことが可能となる。もちろん高抵抗層とした方が良いが、n形からp形に変化させただけでも電気分離の機能を向上させることができる。

【0028】

図4に示した従来の導波路構造では、n形InPクラッド層46の一部を凹状にエッチングして電気分離領域49を設けていたので、クラッド層の厚さが変わる部分で光伝搬モードの変化が生じ、その結果、光散乱ロスが発生していた。一方、本実施例1の構造では、そのような光伝搬モードの変化に伴う光散乱ロスは起こらない。また、従来の構造では、第4の半導体クラッド層46のエッチングが比較的深く、その制御性が問題となっていたが、本実施例1の構造ではそのような問題も生じない。結局、本実施例1の構造は、電気分離領域の形成に起因する従来の光電子導波路の問題を改善するものであり、光ロスを下げることにより光変調器の出力を増大させ、また、素子製作時の構造制御を容易にすることができる。

【実施例2】

【0029】

図2は、本発明に係る半導体光電子導波路の実施例2を説明するための構成図で、図中符号21はn形の第3の半導体クラッド層、22はp形の第5の半導体クラッド層、23

は第1の半導体クラッド層、24は電気光学効果を有する半導体コア層、25は第2の半導体クラッド層、26はn形の第4の半導体クラッド層、27, 28はn電極、29はイオン注入で形成された複数のpn接合から成る電気分離領域を示している。なお、電気分離領域29以外の積層構造は、図1の実施例1と同様である。

【0030】

上述した実施例1では、電気分離領域19は、第4のInPn形クラッド層16の両側に一ヶ所ずつ設けられているが、本実施例2では、これを多数のイオン注入領域を接続して電気分離領域29としたものである。イオン注入部分がp形層となる場合、電気分離領域全体としてpn接合がシリーズ接続された形になるので、pn接合一個あたりにかかる電圧が下がり、電気分離領域のリーク電流が低減される。

【0031】

一般に、イオン注入で形成されたpn接合には格子欠陥が残留し再結合電流（リーク電流）が流れ易い。この電気分離層構造は、そのような場合に有用となるものである。

【実施例3】

【0032】

図3は、本発明に係る半導体光電子導波路の実施例3を説明するための構成図で、図中符号31はn形の第3の半導体クラッド層、32はp形の第5の半導体クラッド層、33は第1の半導体クラッド層、34は電気光学効果を有する半導体コア層、35は第2の半導体クラッド層、36はn形の第4の半導体クラッド層、37, 38はn電極、39はイオン注入で形成された電気分離領域、40aはn形の第4の半導体クラッド層に形成された電極、40bはn形の第4の半導体クラッド層に形成された電極を第3のクラッド層と同電位にする配線を示している。なお、電極40a及び配線40b以外の積層構造は、図1の実施例1と同様である。

【0033】

電気分離領域39を挟んで光変調導波路部と対抗する部分の第4の半導体クラッド層36にn電極40aを形成し、これを配線40bで接続することにより、その電位を第3の半導体クラッド層31と同電位とするものである。電気分離領域の抵抗が十分に高くない場合、電気分離領域39の外側の電位が上がり、主導波路部分以外にバイアス電圧がかかってしまうという問題を排除できる。

【0034】

つまり、本発明は、駆動電圧が低いという特徴を有するn i n形ヘテロ構造を用いた光変調器の特性を安定に実現するのに効果を発揮し、入力光電力の低減をとおして光変調器モジュールの低消費電力化や低価格化に寄与することができる。なお、上述した各実施例では、InPとInAlGaAsを半導体材料とする半導体光電子導波路を示したが、AlGaAs系やInGaAsP系を含む他のIII-V族化合物半導体を用いた光電子導波路構造にも同様に適用できる。

【産業上の利用可能性】

【0035】

本発明は、n i n形ヘテロ構造を用いた光電子導波路の電気分離領域構造を有し、長波長帯の超高速光変調器に用いる半導体光電子導波路に関するもので、従来の凹部形成による電気分離領域と比較して、光モードの伝搬に大きな影響を与えることがなく、光ロスの問題を解決し、また、制御性よく安定に電気分離領域構造を有する半導体光電子導波路を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】 本発明に係る半導体光電子導波路の実施例1を説明するための構成図である。

【図2】 本発明に係る半導体光電子導波路の実施例2を説明するための構成図である。

【図3】 本発明に係る半導体光電子導波路の実施例3を説明するための構成図である。

。

【図4】従来のn i n形構造を有する半導体光変調器の構成図である。

【符号の説明】

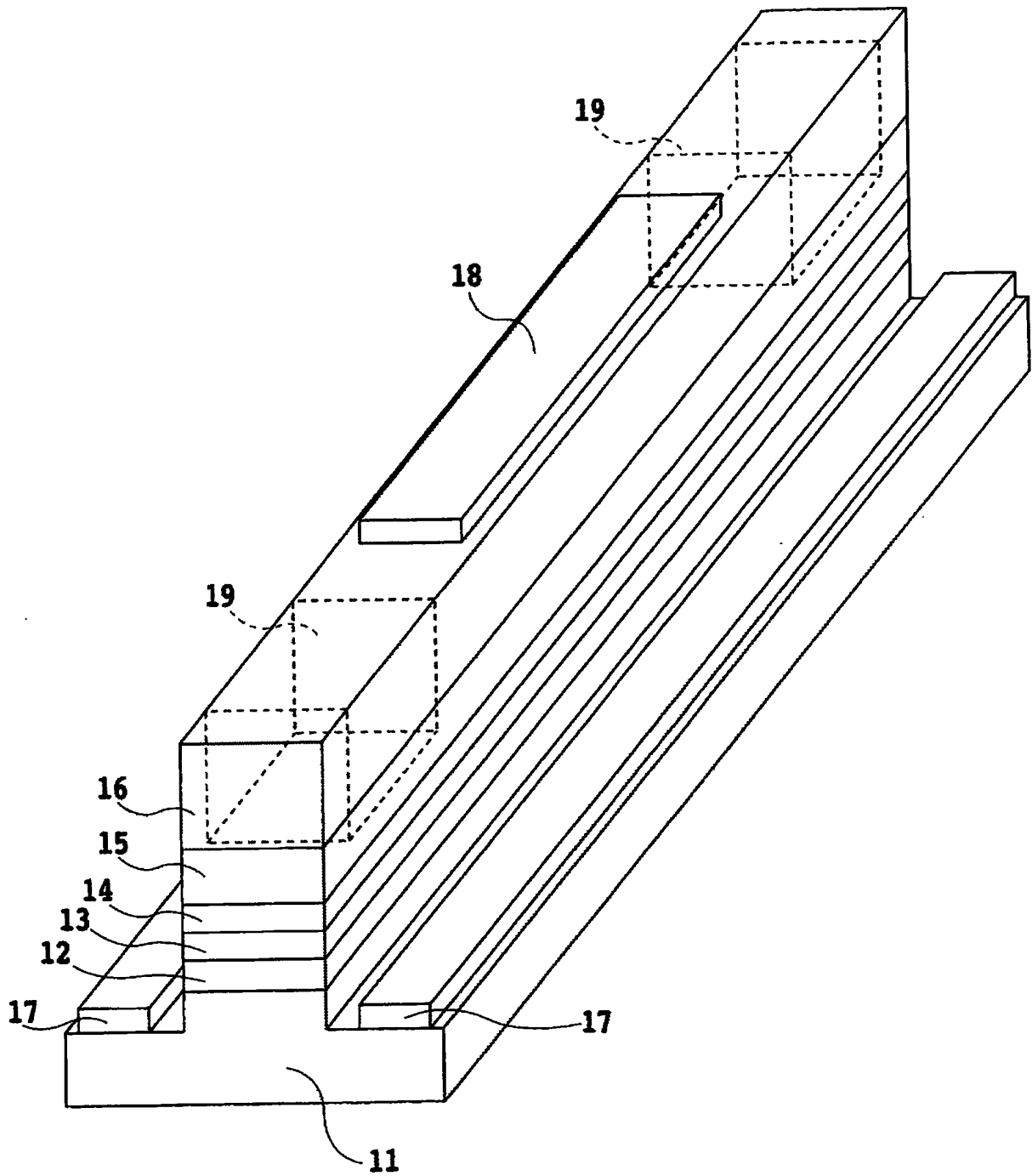
【0037】

- 11, 21, 31 n形の第3の半導体クラッド層
- 12, 22, 32 p形の第5の半導体クラッド層
- 13, 23, 33 第1の半導体クラッド層
- 14, 24, 34 電気光学効果を有する半導体コア層
- 15, 25, 35 第2の半導体クラッド層
- 16, 26, 36 n形の第4の半導体クラッド層
- 17, 18, 27, 28, 37, 38 n電極
- 19, 39 イオン注入で形成された電気分離領域
- 29 イオン注入で形成された複数のpn接合から成る電気分離領域
- 40a n形の第4の半導体クラッド層に形成された電極
- 40b n形の第4の半導体クラッド層に形成された電極を第3のクラッド層と同電位

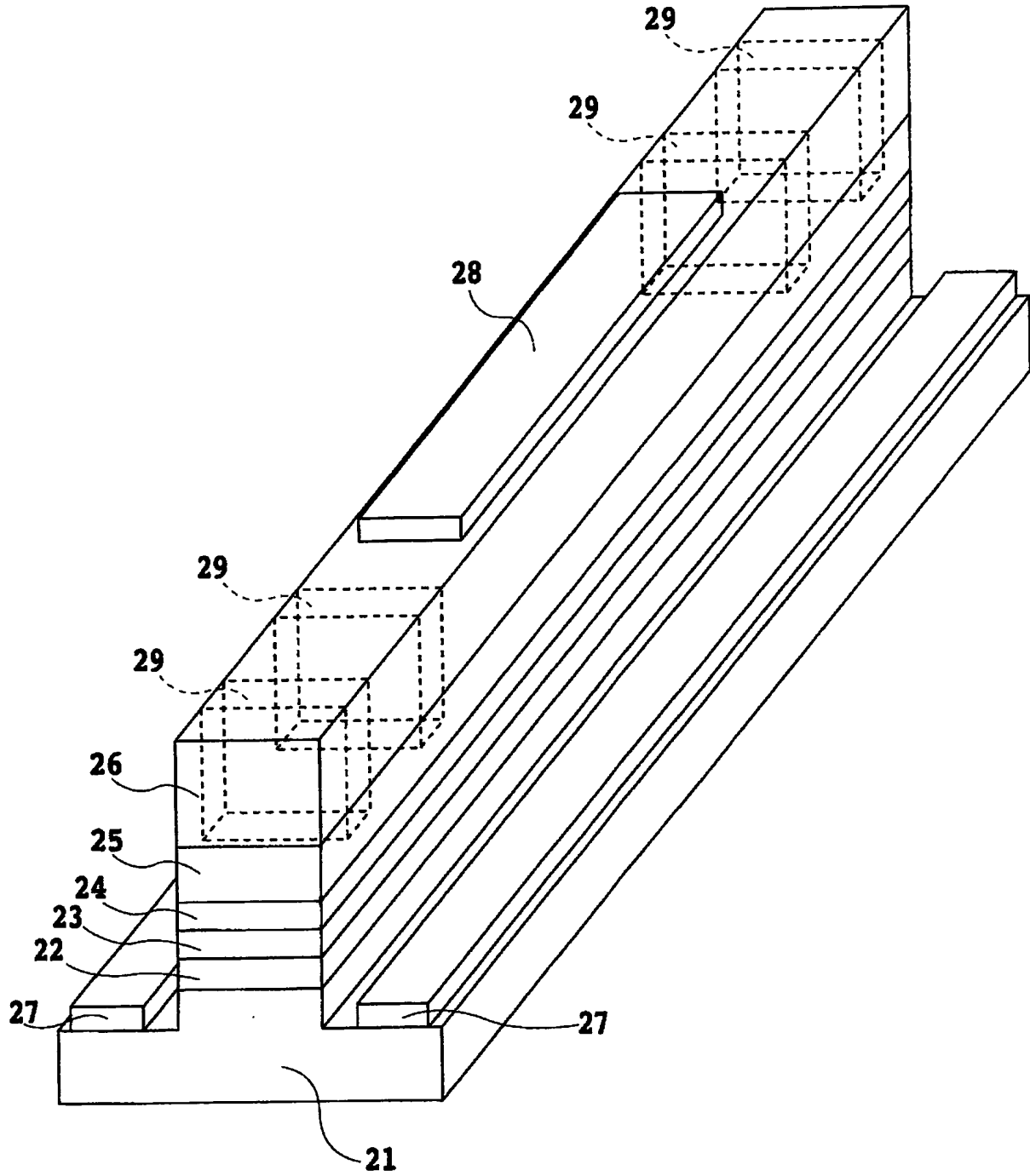
にする配線

- 41 n形の第3の半導体クラッド層
- 42 p形の第5の半導体クラッド層
- 43 第1の半導体クラッド層
- 44 電気光学効果を有する半導体コア層
- 45 第2の半導体クラッド層
- 46 n形の第4の半導体クラッド層
- 47, 48 n電極
- 49 凹状のエッチングで形成された電気分離領域

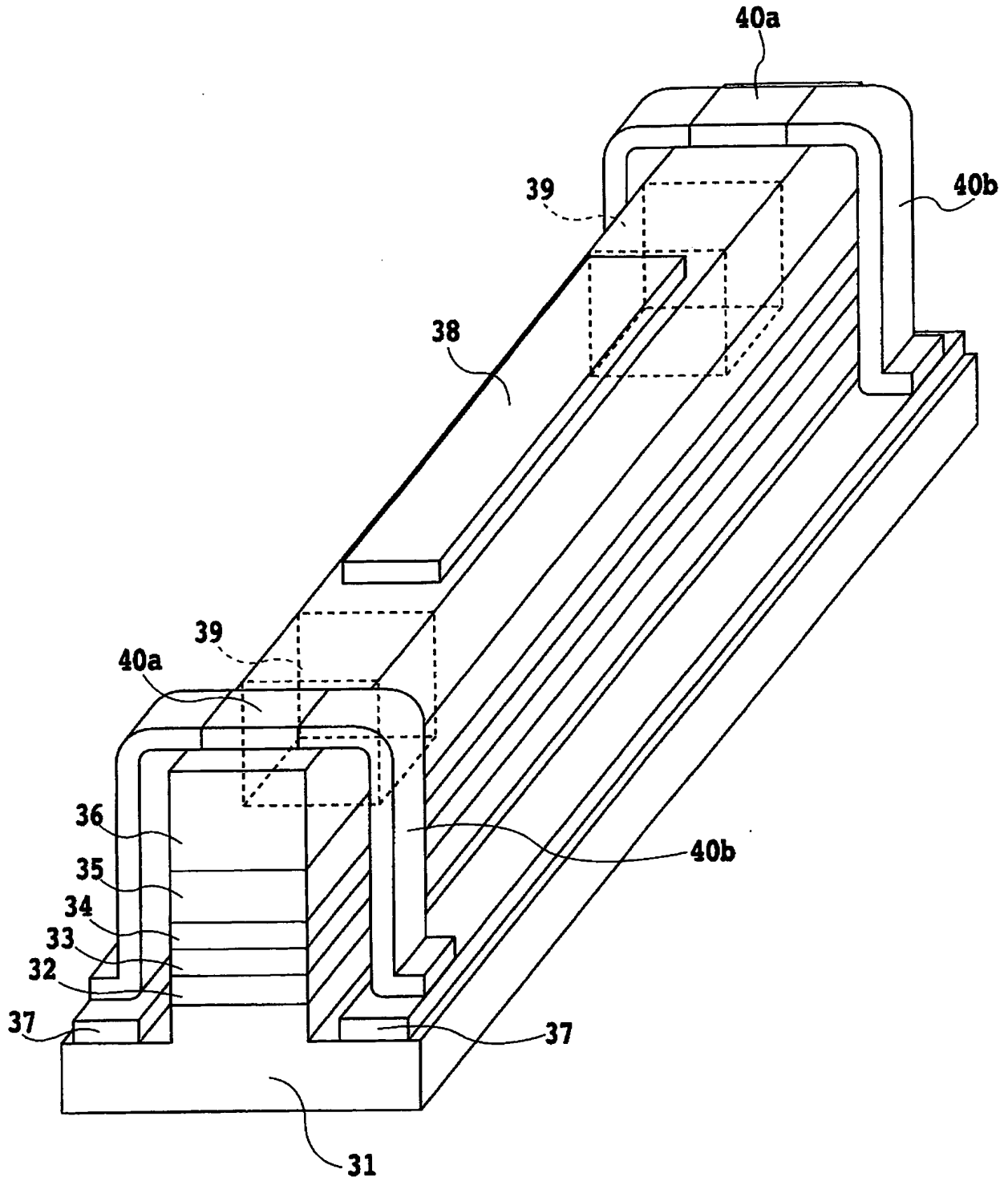
【書類名】 図面
【図 1】



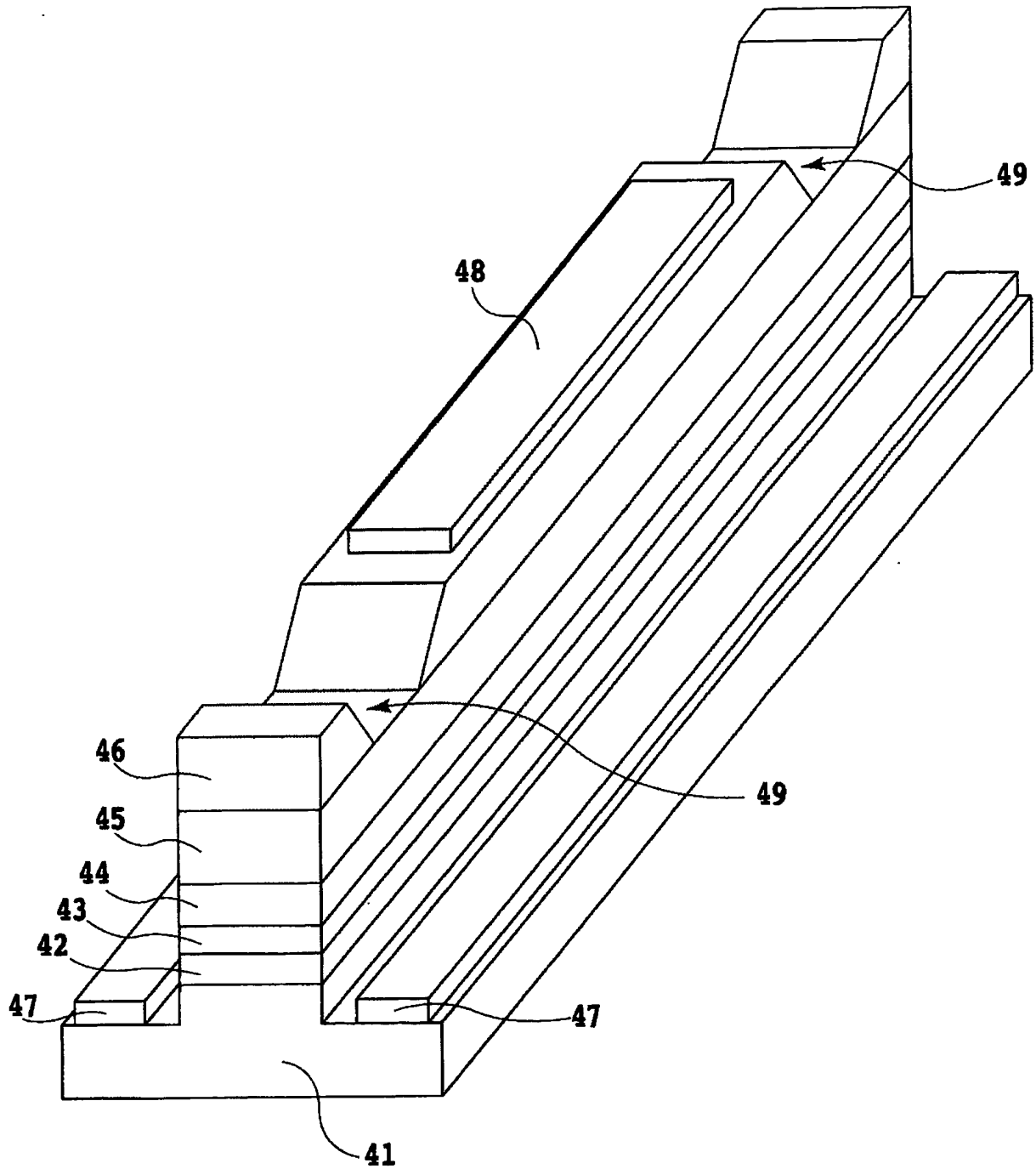
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【書類名】 要約書**【要約】**

【課題】 光モードの伝搬に大きな影響を与えることがなく、光ロスの問題を解決し、また、制御性よく安定に電気分離領域構造を有すること。

【解決手段】 基板側に第1及び第3の半導体クラッド層13, 11を配置し、この第1の半導体クラッド層13と第3の半導体クラッド層11との間に、p形のドーパントを含み、かつ半導体コア層14よりもバンドギャップの大きな第5の半導体層12が挿入され、第4の半導体クラッド層16に、イオン注入法による材料の改質を施して一カ所以上の電气的分離領域19が形成され、第4の半導体クラッド層16の電气的分離領域19以外の主領域と、第3の半導体クラッド層11のそれぞれに独立な電極18, 17が設けられ、半導体コア層14に電圧が印加される構造を有する。これにより、光モードの伝搬に大きな影響を与えることがなく、光ロスの問題を解決する。

【選択図】 図1

特願 2003-346285

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[591230295]

1. 変更年月日

2000年 3月16日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都渋谷区道玄坂1丁目12番1号

氏 名

エヌティティエレクトロニクス株式会社

特願 2 0 0 3 - 3 4 6 2 8 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 2 6]

1. 変更年月日

1 9 9 9 年 7 月 1 5 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号

氏 名

日本電信電話株式会社